

# Trens de Alta Velocidade: Experiência Internacional

SANDER MAGALHÃES LACERDA\*

**RESUMO** Neste artigo, são examinados os trens de alta velocidade em operação em vários países e algumas de suas características. Certos aspectos econômicos, demográficos e geográficos condicionam fortemente a factibilidade da alta velocidade ferroviária e seu entendimento é uma primeira aproximação aos limites e possibilidades desse tipo de transporte. Os trens-bala atualmente em operação estão concentrados em países de maior renda *per capita*, porque essa modalidade de transporte tem altos custos de implantação e suas tarifas são caras. O público-alvo principal são usuários com níveis de renda média ou alta e pessoas que viajam por motivo de negócios ou trabalho. Mesmo cobrando passagens caras e atendendo um grande número de passageiros, as ferrovias de alta velocidade não são capazes de recuperar, através da venda de passagens, a totalidade de seus custos de construção. Por isso, recursos públicos sempre foram utilizados, em maior ou menor escala, para viabilizar a implantação dos trens de alta velocidade.

**ABSTRACT** *This article focuses on the high-speed trains operating in several countries and some of their characteristics. Certain economic, demographic and geographic aspects strongly restrict the feasibility of high-speed railway and its understanding is a first approach to the limits and possibilities of this type of transportation. The bullet trains currently in operation are concentrated in countries of higher per capita income, because such modality of transportation presents high implementation costs and expensive fares. The main targeted public is medium or high income users and people traveling due to business or work reasons. Even charging expensive tickets and serving a large number of passengers, the high-speed railways are not able to recover, through the sale of tickets, their total costs of construction. Therefore, public funds have always been used, at a higher or a lower degree, to make viable the implementation of high-speed trains.*

---

\* Economista do BNDES.

## 1. Introdução

Os moradores de Ciudad Real se queixam de que o último trem de volta parte antes das 11h da noite, o que não permite que eles jantem ou assistam a espetáculos em Madri. Ciudad Real está a 200 km da capital espanhola, mas a viagem é feita em apenas 56 minutos por *el flamante* trem-bala que segue até Sevilha.

Os trens a velocidades superiores a 250 km/h são considerados de *alta velocidade*. Assim como as primeiras ferrovias, eles modificam as relações entre tempo e espaço. Cidades afastadas tornam-se bairros da capital, e grandes transformações acontecem no uso e no valor do solo nas áreas beneficiadas pela nova tecnologia.

O transporte ferroviário é mais confortável e conveniente do que o transporte aéreo. Os passageiros podem utilizar seus telefones celulares e computadores portáteis em todo o trajeto e fazer refeições, sentados à mesa de um vagão-restaurante. As frequências são menos sujeitas aos humores do tempo do que a aviação. A operação de embarque e desembarque em trens é mais simples e rápida do que em aviões.

Orgulho nacional e sucesso comercial na Europa e no Japão, os trens-bala mostraram-se a redenção das ferrovias, em decadência pela ascensão do automóvel e do avião. Existem cinco mil quilômetros de vias de alta velocidade na Europa e outros três mil na Ásia. Coreia do Sul, Taiwan e China são os mais novos membros do clube dos que dispõem dessa forma de transporte.

TABELA 1

### Os Países da Alta Velocidade e o Brasil: População, Densidade Demográfica e Renda *Per Capita*

	POPULAÇÃO (Em Milhões)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (Em Habitantes por km <sup>2</sup> )	RENDA PER CAPITA (Em US\$ Mil)
Taiwan	23	633	32
Coreia do Sul	48	480	26
Japão	128	337	34
França	64	113	33
Alemanha	82	231	31
Itália	59	196	32
Espanha	45	79	29
Brasil	188	22	11

Fontes: Wikipédia e FMI (renda per capita medida pela paridade do poder de compra – PPP).

O Japão foi o pioneiro, com o Shinkansen, na rota entre Tóquio e Osaka, em 1964, à velocidade de 210 km/h. Hoje, essa linha, com 515 km e 16 estações, é a de maior densidade de tráfego no mundo. A sua área de influência inclui a maior metrópole global, Tóquio, com 32 milhões de habitantes, e as regiões metropolitanas em torno das cidades de Nagoya e Osaka, que, em conjunto, têm 22 milhões de habitantes. Na Europa, os trens-bala conectam áreas com menores densidades populacionais. A linha pioneira do velho continente, entre Paris, com 12 milhões de habitantes, e Lyon, com apenas 1,8 milhão, foi inaugurada em 1981.

As características principais dos trens de alta velocidade são apresentadas na próxima seção. Em seguida, são examinados os principais projetos em operação no mundo. Os custos e os benefícios das ferrovias de alta velocidade são discutidos nas seções seguintes. A última seção apresenta as conclusões.

## 2. Trem-Bala

O Japão e os países europeus construíram seus trens de alta velocidade para enfrentar gargalos em seus sistemas de transportes e complementar os serviços regionais de transporte de passageiros. Os trens-bala foram implantados em ambientes em que o transporte ferroviário de passageiros de média e longa distâncias já existia e enfrentava limitações.

Nesses países, além dos trens de alta velocidade, existem serviços convencionais, com velocidades de até 250 km/h. Os serviços convencionais também se encontram em funcionamento em países que não dispõem de trens-bala, como Portugal (Alfa Pendular), Estados Unidos (Acela Express, entre Boston, Nova York e Washington), Suécia e Finlândia.

O mercado que os trens-bala atendem é bem definido: regiões com grandes concentrações populacionais e distantes entre si menos de 600 km. No Japão, as cidades de Osaka, Nagoya, Kobe e Quioto encontram-se a cerca de 500 km de distância de Tóquio, o que torna o trem de alta velocidade um forte competidor com a aviação. Na França, oito das nove maiores cidades estão a distâncias entre 400 km e 800 km de Paris (com exceção de Nice). Na Espanha, as principais cidades encontram-se a distâncias entre 400 km e 600 km de Madri.

Em trajetos de até 300 km, os trens de alta velocidade são mais competitivos do que os aviões, pois a menor velocidade do trem em relação ao avião

é compensada pela agilidade no embarque e desembarque dos passageiros. Acima de 800 km, o avião é mais rápido e o trem-bala não é capaz de competir em tempo de viagem [Gleave (2004)]. Algumas características físicas fazem a diferença entre aviões e trens.

Os aviões possuem normalmente apenas duas portas, enquanto os trens podem ter várias portas por vagão. Se a plataforma permitir a operação pelos dois lados do trem, portas para entrada e saída em lados opostos agilizam o embarque e o desembarque. O embarque em aviões é mais lento, pois é realizado através de escadas ou, em alguns terminais, pontes móveis (*fingers*<sup>1</sup>). Como resultado dessas diferenças, a operação de embarque e desembarque de um trem é feita em alguns minutos, enquanto o avião leva cerca de meia hora.

Em distâncias inferiores a 100 km em percursos sem congestionamento, veículos sobre rodas são mais competitivos do que os trens, pois atendem uma gama maior de pontos de origem e destino e fazem o transporte *porta-a-porta*. Em regiões com congestionamentos, o trem-bala funciona como um serviço de metrô ou trem de superfície, mas com menor número de estações e maior distância entre elas.

O sucesso comercial dos trens de alta velocidade depende de sua capacidade de concorrer com o transporte aéreo. Os passageiros mais importantes, do ponto de vista da geração de receitas, são aqueles que viajam por motivo de trabalho, pois sua disposição para pagar pelo transporte é maior. Outro condicionante importante para gerar receitas é a operação em rotas de alta densidade. Como a construção das vias é muito cara, quanto maior o número de usuários, maior a diluição dos custos fixos.

Nas rotas de maior densidade, os sistemas de sinalização permitem intervalos entre trens de até três minutos [Takatsu (2007)]. Nos horários de pico, as operadoras oferecem trens de grande capacidade, como na linha Tohoku, que opera com trens para 1.634 passageiros. Na Europa, a capacidade teórica de 120 a 160 trens por dia por direção nunca é utilizada e o maior trem é o TGV Duplex, com capacidade para 1.024 passageiros [Gleave (2004)].

A implantação dos trens de alta velocidade iniciou-se nas linhas de maior densidade de passageiros. No Japão, o número de usuários cresceu desde

---

<sup>1</sup> Os *fingers* permitem que os passageiros embarquem e desembarquem protegidos do tempo e mais rápido do que através de escadas.

a sua implantação, na década de 1960, até o final dos anos 1980. Desde então, a utilização dos serviços permaneceu no mesmo nível. Os atuais trechos em construção alcançam mercados menores, de forma que a expansão da malha encontra retornos decrescentes. Na Europa, onde a implantação da alta velocidade iniciou-se mais tarde, o número de passageiros continua em crescimento.

A capacidade de desenvolver altas velocidades exige a construção de linhas com características especiais. Os trilhos não podem realizar curvas fechadas, pois a força centrífuga é função do quadrado da velocidade. As primeiras linhas do *train à grande vitesse* (TGV) tinham raio maior do que 4 km e, para vias com velocidades de até 350 km/h, a International Union of Railways recomenda raio maior do que 5,5 km.

A precisão do alinhamento dos trilhos e as fundações mais profundas do que linhas tradicionais previnem que a movimentação do terreno desalinhos os trilhos. O espaçamento entre as vias é calculado a fim de que os trens possam se cruzar com segurança a velocidades de até 600 km/h. Em relação a trens de carga, os de alta velocidade enfrentam rampas bem mais inclinadas, por causa da alta potência e do baixo peso dos trens. No TGV Sud-Est, as rampas são de até 3,5% e, na linha entre Colônia e Frankfurt, de até 4%.<sup>2</sup>

Os túneis são um limitante adicional às grandes velocidades. As mudanças de pressão do ar causadas pela entrada e saída dos túneis são desagradáveis para os passageiros. Uma solução parcial para esse problema foi a adoção de carros de passageiros pressurizados. O nível de ruídos e a vibração causada pela passagem dos trens em áreas urbanas também restringem as velocidades.

Como se torna impossível para o condutor guiar-se pelos sinais ao longo da via, a sinalização é verificada em monitores dentro da cabine dos veículos. Por motivo de segurança, as vias devem ser isoladas e não pode haver cruzamento com rodovias, ruas ou outras ferrovias, pois um choque entre um trem a 300 km/h e outro veículo seria fatal. O histórico de segurança dos trens de alta velocidade mantém-se no Japão e na França, mas sofreu um abalo com um grave acidente ocorrido na Alemanha, em 1998. No desastre de Eschede, entre Munique e Hamburgo, uma falha no desenho da roda do trem causou seu descarrilamento a 200 km/h e resultou em 101 mortos.

---

2 Para trens de carga, a rampa (inclinação da via) máxima recomendada para um bom desempenho operacional do transporte é de 1,5%.

O contato entre a roda do trem e o trilho é a tecnologia normalmente adotada nas vias de alta velocidade. A China é o único país com operação comercial da tecnologia *maglev*, em que o trem flutua acima de um campo magnético criado pelos trilhos. Esse sistema alcança velocidade máxima de 430 km por hora, mas tem grande consumo de energia. A linha chinesa, com 30 km de extensão, conecta a cidade de Xangai e o aeroporto de Pudong, desde 2004.

Algumas diferenças entre os dois principais modelos de alta velocidade ferroviária – o TGV e o Shinkansen – estão relacionadas à geografia e às densidades demográficas. Altas concentrações populacionais em grandes áreas urbanas e escassez de terras agricultáveis são características japonesas. Para adaptar-se a elas, o Shinkansen utiliza bastante as vias elevadas, o que permite manter a comunicação entre os dois lados dos terrenos que elas cortam e toma menos terras às atividades agrícolas e áreas urbanas. Outra diferença refere-se à tração dos trens. O Shinkansen utiliza o sistema de tração distribuída – os motores estão localizados nos carros de passageiros –, enquanto o TGV tem carros-tratores nas extremidades dos trens.

Na França e no Japão, as linhas de alta velocidade são exclusivas, enquanto na Itália e na Alemanha elas são compartilhadas com serviços convencionais de passageiros e com trens de carga. Na França, na Alemanha e na Itália, foi adotado o uso de infra-estrutura ferroviária preexistente, nos trechos de acesso aos centros urbanos e estações, o que permitiu reduzir os custos de implantação. Na Espanha e no Japão, por causa do uso de bitola diferente nos trens convencionais e nos trens de alta velocidade, houve necessidade de criar novas rotas até os centros das cidades ou adaptar as vias existentes para a bitola padrão.

### 3. Panorama Internacional

A maior parte dos serviços ferroviários de alta velocidade atende rotas domésticas. Os serviços internacionais atualmente em operação na Europa estão centrados na França, de onde parte o Eurostar, entre Paris e Londres, o Thalys, entre Paris e Bruxelas, e a nova linha, inaugurada em 2007, entre Paris, Frankfurt e Stuttgart.

O Túnel do Canal da Mancha iniciou operação em 1994, mas a linha até Londres ficou inteiramente capacitada para os trens de alta velocidade somente em novembro de 2007. A viagem entre Paris e Londres é feita em duas horas e 15 minutos. A linha entre Espanha e França tem sua conclusão prevista para 2011.

Desde a Alemanha, os trens de alta velocidade alcançam a Holanda, a Bélgica e a Áustria. A integração entre os serviços de diferentes países europeus enfrenta problemas de interoperabilidade, pelas diferenças entre os sistemas de alimentação elétrica e de sinalização das malhas.

TABELA 2

**Linhas de Alta Velocidade em Operação\***

	EXTENSÃO (Em km)
Japão	2.304
França	1.893
Alemanha	1.300
Itália	562
Espanha	1.043
Coréia do Sul	345
Taiwan	330
Bélgica	120
Inglaterra	113
<b>Total</b>	<b>8.010</b>

Fonte: *International Union of Railways.*

\* Inclui linhas com velocidades menores do que 250 km/h.

A China planeja a inauguração de sua primeira linha de alta velocidade, de 117 km, entre Beijing e Tianjin, para os Jogos Olímpicos de Beijing, em 2008. Construída em vias elevadas, a um custo previsto de 14,2 bilhões de yuans (US\$ 1,9 bilhão ou US\$ 16,6 milhões por km), terá velocidade de 300 km/h e três estações intermediárias. Os sessenta trens com tecnologia Siemens, no valor de  $\approx$  1,3 bilhão, possuem tração distribuída e acomodam mais de seiscentos passageiros cada. O maior projeto chinês é uma linha de alta velocidade com 1.318 km entre Beijing e Xangai, cujo custo pode chegar a 220 bilhões de yuans (US\$ 30 bilhões).<sup>3</sup>

Vários países estão em processo de estudo e planejamento de trens-bala. Na Argentina, o governo federal iniciou em 2007 o processo de licitação da linha de alta velocidade entre Buenos Aires, Rosario e Córdoba. Nos Estados Unidos, existem planos de construir uma linha entre San Francisco e Los Angeles. Em Portugal, estão em planejamento linhas entre Porto e Lisboa e entre Lisboa e Madri.

Dois trens-bala são de particular interesse, pois foram construídos recentemente, em regiões com topografia desfavorável e que até então não dispu-

3 *Railway Gazette*: [http://www.railwaygazette.com/news\\_view/article/2007/12/7948/spv\\_to\\_fund\\_beijing\\_shanghai.html](http://www.railwaygazette.com/news_view/article/2007/12/7948/spv_to_fund_beijing_shanghai.html).

nam desse tipo de transporte. As dificuldades encontradas nesses projetos indicam alguns desafios que a alta velocidade teria a enfrentar no Brasil. A Coreia do Sul estimava gastar US\$ 18 bilhões na implantação de sua linha de alta velocidade, mas esse valor foi suficiente apenas para construir um pouco mais da metade do trajeto inicialmente previsto. Os empecilhos encontrados durante a execução da obra levaram à sua reformulação e à redução de escopo. Em Taiwan, havia a intenção de realizar a maior concessão do mundo, mas o projeto foi inaugurado com o governo como importante acionista e garantidor dos capitais privados investidos.

### 3.1 Shinkansen

Existem, atualmente, mais de dois mil quilômetros de linhas de alta velocidade no Japão.<sup>4</sup> Outros 1.300 km estão autorizados, dos quais 500 km estão em construção. O Japão é o país com a mais alta participação da ferrovia no transporte de passageiros, de 27%. A grande população (128 milhões de habitantes) em uma área pequena e montanhosa resultou em enormes regiões urbanas nos vales próximos à costa. O transporte ferroviário foi adotado como solução para a mobilidade da população, tanto nas áreas urbanas quanto entre elas. Os trilhos no Japão são usados principalmente para o transporte de passageiros. A participação das ferrovias no transporte de cargas é de apenas 4% da tonelagem-quilômetro total.

A empresa estatal Ferrovia Nacional do Japão (FNJ) construiu as linhas Tokaido, Sanyo, Tohoku e Joetsu. Em 1987, a FNJ foi dividida em sete empresas e sua enorme dívida foi assumida pelo governo japonês. As empresas resultantes (conhecidas como JRs) ganharam autonomia administrativa e orçamentos próprios, passando a operar como empresas orientadas pelo lucro. Mas o controlador das empresas continuou a ser o governo japonês, que apenas lentamente abriu o capital das empresas para investidores privados. As novas linhas (Hokkaido, Hokuriku e Kyushu) são construídas pela Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency e operadas pelas JRs, que pagam tarifas de acesso à infra-estrutura.

A principal rota do transporte de passageiros no Japão está entre Tóquio e Osaka. A viagem de 515 km é feita em duas horas e meia no Shinkansen ou em cinquenta minutos de avião. Existem 16 estações entre Tóquio e Osaka. Todos os trens fazem pelo menos duas paradas intermediárias (em Nagoya e Quioto). A linha opera com intervalos de até três minutos, utiliza trens de

4 Ver mapa em <http://www.jrcc.go.jp/sigoto/sigoto1.htm>.



400 m com capacidade para mil passageiros e transporta 390 mil pessoas por dia. Os residentes de áreas distantes até 100 km de Tóquio levam meia hora para alcançar o centro da cidade.

Os indicadores de segurança e de pontualidade da malha ferroviária de alta velocidade japonesa são excepcionais. Desde o início de seu funcionamento, há mais de 43 anos, nenhum acidente com vítimas fatais foi registrado no Shinkansen. O atraso médio na linha entre Tóquio e Osaka foi de apenas 36 segundos, em 2005 [Takatsu (2007)]. As linhas Tohoku e Joetsu, mesmo sob nevascas fortes, não sofrem interrupções ou atrasos significativos, enquanto os aeroportos e rodovias adjacentes são fechados ou operam com restrições.

### 3.2 Train à Grande Vitesse

Na França, a linha pioneira do *train à grande vitesse* (TGV), entre Paris e Lyon, numa distância de 425 km, teve o seu planejamento iniciado em 1966 e a construção em 1978.<sup>5</sup> Sua primeira fase foi inaugurada em 1981. A topografia francesa é relativamente plana e as vias do TGV são em nível. Esse fator, associado à utilização das vias convencionais dos trens urbanos na aproximação a Paris, facilitou e barateou a implantação do TGV. Os custos de construção da linha entre Paris e Lyon foram de US\$ 7 milhões por km [Campos *et al.* (2006)]. A participação da ferrovia no transporte de passageiros na França é de 9,6%.

TABELA 3

#### **Linhas do TGV Francês**

PROJETOS	INAUGURAÇÃO	DISTÂNCIA EM KM
Sud-Est (Paris–Lyon)	1981-1983	447
Atlantique (Paris–Tours/Le Mans)	1989-1990	282
Rhône-Alpes (Lyon–Valence)	1992-1994	121
Nord (Paris–Calais/Fronteira com a Bélgica)	1993	320
Interconexão entre Linhas em Paris	1994	70
Med (Valence–Marseille/Nîmes)	2001	303

Fonte: Gleave (2004, p. 88).

O operador de quase todos os serviços de passageiros na França, incluindo as linhas de alta velocidade, é a estatal Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF). A infra-estrutura e a superestrutura são propriedades da estatal Réseau Ferré de France (RFF), criada por causa da legisla-

<sup>5</sup> Ver mapa da rede francesa em <http://www.tgv.co.uk/FlashMaps/france.html>.

ção europeia que determinou a separação entre infra-estrutura e serviços ferroviários. A operação dos serviços internacionais Eurostar e Thalys foi viabilizada pela formação de consórcios entre os operadores de diferentes países. Os planos de expansão do TGV incluem a rota entre Perpignan e Figueras (conexão entre França e Espanha) e a extensão do TGV Atlantique até Bordeaux.

TABELA 4

### Participação de Mercado do TGV e Tempos de Viagem

ROTA	PARTICIPAÇÃO (%)	TEMPO DE VIAGEM
Paris–Lyon	91	1:55
Paris–Nantes	89	2:00
Paris–Bordeaux	62	3:00
Lyon–Lille	60	3:00
Paris–Marseille	60	3:10

Fonte: Gleave 2004, Apêndice B.

A Tabela 4 mostra os tempos de viagem do TGV e a sua participação no mercado de transporte aéreo e ferroviário de passageiros. Pode-se observar que, nas rotas de menor tempo de viagem, o trem é capaz de absorver uma grande parte da demanda por transporte.

## 3.3 Deutsch Bahn

Na Alemanha, o serviço InterCity Express (ICE) iniciou operações em 1991, nas rotas entre Hamburgo e Würzburg, com 327 km, e entre Mannheim e Stuttgart, com 100 km, a uma velocidade máxima de 250 km por hora.<sup>6</sup> A estratégia adotada foi o compartilhamento das vias entre serviços de passageiros e de cargas, ao contrário de França e Japão, onde as linhas de alta velocidade são exclusivas. Entre Hamburgo e Würzburg, trens de carga percorrem a linha de alta velocidade durante a noite, a 120 km/h, em intervalos de seis minutos. Trens de carga mais leves circulam à velocidade máxima de 160 km/h [Ebeling (2005)].

Apenas duas linhas alemãs estão capacitadas para velocidades máximas de 300 km/h. A linha entre Colônia e Frankfurt, construída entre 1995 e 2002, ao custo de  $\approx$  6 bilhões, permite vencer 177 km em uma hora e dez minutos. O trajeto percorre terreno acidentado, o que exigiu a construção de um grande número de pontes e túneis. Apenas serviços de passageiros

6 Ver mapa da rede alemã em [http://www.bahn.de/p/view/international/englisch/travelservice/rail\\_network\\_map.shtml](http://www.bahn.de/p/view/international/englisch/travelservice/rail_network_map.shtml).

usam essa via. A linha entre Nuremberg e Ingolstadt, inaugurada em 2006, tem 90 km e o seu custo de construção foi de  $\approx$  3,6 bilhões. A fim de minimizar os impactos ambientais da linha, ela foi construída, em grande parte, paralela a uma rodovia já existente.

Os serviços ICE são operados pela empresa estatal Deutsch Bahn (DB), que controla o transporte de passageiros e de carga em mais de 90% da malha do país. A DB oferece serviços de passageiros e cargas, manutenção e infra-estrutura. A sua subsidiária DB Netz é responsável pela infra-estrutura e a DB Reise & Touristik opera todos os serviços de passageiros de longa distância, incluindo os serviços de alta velocidade [Gleave (2004)].

Alguns serviços regionais e locais são concedidos a operadores privados, que utilizam a rede da DB. Os únicos competidores em rotas de longa distância são o Veolia, entre Leipzig e Berlim, e o Georg Verkehrsorganisation, entre Berlim e Malmo, na Suécia. Em maio de 2007, iniciou operações o primeiro trem de alta velocidade entre Paris, Stuttgart e Frankfurt, da *joint venture* Alteo, formada por SNCF e DB. Os trens de alta velocidade também operam em linhas convencionais, incluindo trechos internacionais até a Suíça, a Bélgica e a Holanda.

Apenas três cidades alemãs têm mais do que um milhão de habitantes: Berlim (3,4 milhões), Hamburgo (1,7 milhão) e Munique (1,3 milhão). A participação da ferrovia no transporte de passageiros na Alemanha é de 8,4%. A menor utilização dos trens de alta velocidade na Alemanha, em comparação com a França, é atribuída, em parte, à dispersão da população e ao relevo mais montanhoso. Os serviços alemães têm, em geral, paradas frequentes e menores velocidades médias de percurso. O trem de alta velocidade entre Munique e Hamburgo, por exemplo, faz um mínimo de sete paradas intermediárias [Gleave (2004)]. A DB opera todos os serviços de ônibus de longa distância, de forma que não existe competição entre ônibus e trens.

### 3.4 Treno Alta Velocità

A linha entre Roma e Florença, a Direttissima, teve sua primeira parte inaugurada em 1978. A viagem de 254 km é feita em uma hora e meia. Para enfrentar a grande quantidade de curvas, os italianos desenvolveram a tecnologia de *tilting train*. Conhecido como Pendolino, o trem inclina-se nas curvas para compensar a força centrífuga e oferecer maior conforto aos passageiros.

Uma rede de alta velocidade está sendo construída na rota entre Milão, Bolonha, Florença, Roma e Nápoles e entre Turim, Milão, Verona e Veneza. A rede ferroviária e os serviços são propriedades da estatal Ferrovie dello Stato e suas três subsidiárias. A Trenitalia opera todos os serviços de cargas e passageiros, incluindo os serviços de alta velocidade. A Rete Ferroviaria Italiana administra a infra-estrutura e a Treno Alta Velocità SpA é responsável pelo planejamento e a construção de novas linhas de alta velocidade. Alguns serviços locais são providos por governos regionais. A participação de mercado do transporte ferroviário na Itália é de 5%.

### 3.5 Alta Velocidad Española

A primeira linha espanhola de alta velocidade, entre Madri e Sevilha, foi inaugurada em 1992.<sup>7</sup> Seus 471 km são percorridos em duas horas e vinte minutos pelo trem expresso. Existem paradas em Ciudad Real, Puertollano e Córdoba. Essa linha transporta seis milhões de passageiros por ano.<sup>8</sup> A linha entre Madri, Zaragoza e Lérida foi inaugurada em 2003. A sua extensão até Barcelona foi inaugurada em fevereiro de 2008 e a viagem entre Madri e Barcelona leva duas horas e quarenta minutos.

Para conectar-se à rede francesa, a Espanha teve de adotar a bitola de 1,435 m. A bitola ibérica, de 1,688 m, impede que os trens de alta velocidade compartilhem as vias com os trens convencionais. Alguns problemas de mudança de bitola foram superados através do Talgo 200, um trem capaz de adaptar-se às diferentes bitolas e alcançar, a partir da linha entre Madri e Sevilha, Málaga (por Córdoba) e Cádiz y Huelva (por Sevilha). A despeito da impossibilidade de compartilhar as vias convencionais nos perímetros urbanos, os custos de construção da linha entre Madri e Sevilha foram relativamente baixos, de US\$ 13,5 milhões por km [Campos *et al.* (2006)]. A conversão para a alta velocidade de segmentos de linhas tradicionais tem ajudado a manter os custos de implantação em níveis confortáveis, o que somente é possível pela pouca utilização dessas vias [Gleave (2004)]. Os recursos do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional têm sido um importante fator a viabilizar a construção das vias de alta velocidade na Espanha.

A estatal Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (Renfe) é o operador de serviços de passageiros e o Administrador de Infraestructuras Ferro-

<sup>7</sup> Ver mapa da rede espanhola em <http://www.renfe.es/ave/>.

<sup>8</sup> Incluindo os passageiros transportados pelos serviços convencionais que operam na linha de alta velocidade.

viárias (ADIF) é responsável pela manutenção e pela operação das vias e estações. Outros três operadores oferecem serviços de passageiros. A participação de mercado do transporte ferroviário é relativamente baixa na Espanha, de 4,8%.

### 3.6 Coréia do Sul e Taiwan: Implantações Recentes

Os mais recentes projetos de implantação de trens de alta velocidade em países que até então não contavam com essa tecnologia foram na Coréia do Sul e em Taiwan. Ambos os países tiveram de construir uma grande quantidade de viadutos e túneis por causa da topografia desfavorável e o início de operação foi marcado por números de passageiros transportados bem abaixo do esperado.

O trem-bala coreano encontrou dificuldade em sua implantação e, após mais de dez anos do início da construção, apenas a primeira parte estava concluída. O trajeto entre a capital sul-coreana, Seul (23 milhões de habitantes), e a cidade portuária de Pusan (3,6 milhões) é de 412 km.<sup>9</sup> O projeto previa capacidade para 520 mil passageiros diários, viagem de duas horas e nove estações. Os custos estimados eram de US\$ 18,2 bilhões [Shin (2005)]. Porém, somente na primeira fase, de apenas 224 km, foram gastos US\$ 16 bilhões. Quando da crise coreana de 1997, tomou-se a decisão de modificar o projeto original e usar linhas convencionais, melhoradas, entre Daegu e Pusan, deixando para o futuro a construção de uma nova linha nesse percurso [Chun-Hwan (2005)].

A primeira parte do Korea Train Express (KTX) foi inaugurada em 2004. Nos primeiros meses de operação, foram transportados 70 mil passageiros por dia. Frente a uma demanda 46% menor do que a esperada, os coreanos verificaram a impossibilidade de reduzir o número de carros dos trens.<sup>10</sup> Foi adotada a tecnologia da Alstom para um total de 58 trens, com 388 m e com capacidade para 935 passageiros, cada um.

Os recursos para o projeto tiveram origem diretamente no governo coreano (35%), em empréstimos garantidos pelo governo (10%) e em empréstimos domésticos e internacionais, a serem pagos com as receitas do projeto (55%) [Shin (2005)]. A linha foi projetada para a velocidade máxima de 300 km por hora, em bitola de 1,435 m. A tração é de 18.200 HP e a ace-

<sup>9</sup> Ver mapa em <http://ktx.korail.go.kr/eng/flash/map.swf>.

<sup>10</sup> A demanda inicial estimada era de 200 mil passageiros diários [Shin (2005)].

lação de zero a 300 km/h é feita em seis minutos e oito segundos [Shin (2005)].

A recente experiência de implantação do trem-bala em Taiwan é particularmente interessante. A linha foi construída em sete anos e entrou em operação em janeiro de 2007. São 345 km em bitola padrão entre Taipei (com 10 milhões de habitantes) e Kaohsiung (2,7 milhões), percorridos em oitenta minutos. A velocidade máxima é de 300 km por hora e o projeto prevê um total de 12 estações. Cerca de 90% do trajeto foi feito em viadutos e túneis.

Foi empregada tecnologia Shinkansen e o custo de implantação alcançou US\$ 18 bilhões, com importante participação de investidores privados. Os serviços ferroviários foram concedidos por 35 anos e as áreas das estações, por cinquenta anos. Assim como na Coreia do Sul, optou-se pela utilização de trens de alta capacidade, com 12 carros de 304 m e 989 assentos. A previsão de demanda inicial era de 200 mil passageiros por dia, mas apenas 50 mil passageiros eram transportados, em 2007 [Shima (2007)].

O governo de Taiwan responsabilizou-se pelas desapropriações de terrenos e pela construção de acessos rodoviários e de conexão com sistemas de trânsito. Além disso, tornou-se o principal acionista individual e ofereceu US\$ 9 bilhões em garantias.<sup>11</sup>

## 4. Custos

Mesmo para as economias mais ricas do mundo, a construção de ferrovias de alta velocidade representa um grande esforço financeiro. A dívida que a Rede Ferroviária Japonesa assumiu com a construção das primeiras linhas do Shinkansen, estimada em US\$ 200 bilhões, tornou-se um fardo para a empresa e foi um dos fatores que levaram à sua reestruturação e à sua divisão, na década de 1980. O Túnel do Canal da Mancha, um empreendimento totalmente financiado com recursos privados, não foi capaz de produzir receitas suficientes nem sequer para o pagamento dos juros dos recursos investidos em sua construção.

São três os principais componentes dos custos de construção de vias de alta velocidade: aquisição de terrenos e planejamento (incluindo estudos de viabilidade, projeto executivo, obtenção de vários tipos de licenças, en-

---

11 Ver <http://www.hartford-hwp.com/archives/55/584.html>.

tre elas, as ambientais); construção da infra-estrutura; e aquisição e montagem da superestrutura (trilhos, sistemas de sinalização e comunicação, isolamento das vias, alimentação elétrica, sistemas de segurança, estações e pátios) [Campos et al. (2006)].

Os custos de construção variam de acordo com as características dos terrenos (topografia, acidentes naturais e travessia de áreas urbanas), as condições de financiamento, a quantidade de estações e a execução da obra. O mais caro de todos os projetos, o Túnel do Canal da Mancha, foi construído a um custo de £ 5,2 bilhões (US\$ 10,3 bilhões), ou quase US\$ 100 milhões por quilômetro [Gleave (2004)].

TABELA 5

### **Custos por Quilômetro de Construção de Linhas de Alta Velocidade**

(Em  $\times$  Milhões)

PAÍS	CUSTO
Espanha	9,3
França	13,4
Bélgica	16,1
Itália	16,8
Alemanha	18,7
Japão	25,6
Coréia do Sul	34,2
Taiwan	39,5

Fonte: Campos et al. (2006).

Dados de projetos em operação. Inclui os custos de infra-estrutura e superestrutura e exclui os custos de planejamento e aquisição de terrenos.

De acordo com dados relativos a 24 projetos em operação, os custos de construção de linhas de alta velocidade variam entre  $\times$  9 milhões e  $\times$  39 milhões por quilômetro, com uma média de  $\times$  18 milhões, sem considerar os custos de planejamento e aquisição de faixa de domínio [Campos et al. (2006)]. A construção de túneis e viadutos é quatro a seis vezes mais cara do que a construção em terrenos planos [Gleave (2004)]. A manutenção de 1 km de linha na Europa custa, por ano, entre  $\times$  13 mil (na Itália) e  $\times$  70 mil (na Holanda) [Campos et al. (2006)]. As despesas relacionadas à manutenção das vias incluem os gastos com mão-de-obra, energia e materiais.

Os custos das ferrovias de alta velocidade incluem também a aquisição de sofisticados trens, cujos preços variam entre € 17 milhões e € 39 milhões por unidade [Campos et al. (2006)]. Os custos operacionais dos trens (operação e manutenção dos trens, manutenção de equipamentos auxiliares, gastos com energia, administração e vendas) dependem das características

do material rodante e da escala de operação da linha. Os custos de manutenção de um trem são estimados em € 1 milhão por ano (ou € 2 por quilômetro, considerando-se que o trem percorra 500 mil km por ano) [Campos *et al.* (2006)]. Numa simulação realizada para a rota entre Los Angeles e San Francisco, nos Estados Unidos, a partir de dados do TGV, chegou-se a um valor de US\$ 280 milhões em custos operacionais para transportar 10,5 milhões de passageiros por ano [Levinson *et al.* (1997)].

## 5. Benefícios

Os benefícios que o transporte ferroviário de alta velocidade gera para seus usuários são o menor tempo de transporte, em deslocamentos relativamente pequenos, em que o trem é mais rápido do que os modais alternativos, ou o maior conforto e comodidade, em comparação com o transporte aéreo ou rodoviário, em trajetos de média distância. Esses benefícios são conversíveis em receitas do operador do trem-bala, através da venda de passagens. Outros, no entanto, muitas vezes não são incorporados ao fluxo de receitas do empreendimento, pois representam *benefícios externos* (ou *externalidades positivas*). Eles são importantes porque seus valores podem ser altos e eles estabelecem um critério para a participação financeira dos governos nos projetos. Sua mensuração, no entanto, é bastante complexa e algumas vezes somente podemos obter *estimativas educadas* sobre os valores dos benefícios externos.

As principais externalidades positivas dos trens-bala são a redução de congestionamentos e de acidentes, a valorização de terrenos nas proximidades das estações, as economias de aglomeração, o menor uso do solo e a menor emissão de CO<sub>2</sub> e poluentes.

A redução do congestionamento de rodovias de acesso a áreas urbanas depende da existência de estações relativamente próximas às capitais e com infra-estrutura intermodal. Outras vias ferroviárias e aeroportos também podem sofrer menores níveis de congestionamento pela implantação de trens de alta velocidade.

A maior segurança dos trens de alta velocidade, em comparação com aviões e veículos rodoviários, pode reduzir o número de acidentes relacionados ao transporte na área de influência do projeto. Mas, se a capacidade das rodovias e dos aeroportos que for liberada pela implantação do trem-bala for ocupada por outros usuários, o nível de acidentes voltará ao patamar anterior.



A maior acessibilidade das regiões atendidas pelas estações da linha de alta velocidade tende a aumentar substancialmente o valor dos terrenos e imóveis nos entornos das estações. Esse benefício, muitas vezes, é capturado pelos proprietários das áreas beneficiadas. Porém, em alguns projetos, como em Taiwan, houve a tentativa de internalizar a valorização de terrenos através da concessão das áreas das estações. Procurou-se, dessa forma, incorporar os ganhos imobiliários decorrentes do trem de alta velocidade ao fluxo de receitas do projeto.

Os benefícios ambientais do trem-bala dependem da fonte de energia utilizada. Se a fonte for hidrelétrica ou nuclear, então se trata da substituição de combustíveis fósseis (gasolina, diesel e querosene de aviação utilizado pelos modais alternativos) por fonte que não gera CO<sub>2</sub> e outros gases causadores do efeito estufa. Um estudo sobre a eficiência energética de alguns sistemas de alta velocidade concluiu que eles consomem o equivalente (em litros de petróleo por cem passageiros-quilômetro) a 2,5 litros, enquanto carros e aviões consomem, respectivamente, 6 e 7 litros [Infras/IWW (2000)]. O mesmo estudo concluiu que as emissões de dióxido de carbono por cem passageiros-quilômetro é de 17 toneladas para aviões, 14 toneladas para carros de passeio e apenas 4 toneladas para trens de alta velocidade.

Outras avaliações, no entanto, chegaram a diferentes conclusões. Levando-se em consideração as emissões de CO<sub>2</sub> relativas à construção da infraestrutura e à fabricação de equipamentos, a vantagem do trem-bala frente a outros modais dilui-se [Spaven (2006)]. Além disso, se houver substituição de trens convencionais por trens de alta velocidade, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam, por causa do maior gasto energético por passageiro-quilômetro transportado.

Em relação ao modal rodoviário, a ocupação do solo é menor. Cada linha dupla para trens de alta velocidade ocupa 25 m e tem capacidade para 8 mil passageiros por hora (considerando-se 12 trens por hora e por direção e 666 passageiros por trem), enquanto uma rodovia com duas pistas ocupa uma faixa de 75 m e tem capacidade para 7.650 passageiros por hora.<sup>12</sup>

Um último e importante impacto do trem-bala diz respeito às economias de aglomeração que ele permite aproveitar. O transporte de alta velocidade expande a fronteira de possibilidades da economia, pois viabiliza contatos pessoais, prestação de serviços e acesso a empregos para maior número de

---

12 Considerando-se 1,7 passageiro por carro, 4.500 carros por hora e direção.

peessoas. A possibilidade de deslocar-se rapidamente em áreas com grandes concentrações populacionais permite melhor aproveitamento do capital humano e maior competitividade na prestação de serviços.

## 6. Conclusões

Na Europa e na Ásia, a implantação das linhas de alta velocidade visava complementar os serviços ferroviários convencionais e aumentar a capacidade de sistemas de transporte com gargalos. As linhas de alta velocidade inserem-se, em cada país, na rede ferroviária existente de acordo com as prioridades de seus sistemas de transporte e particularidades geográficas.

Em alguns países, as vias da alta velocidade são exclusivas, enquanto em outros o seu uso é compartilhado com serviços de passageiros convencionais e serviços de cargas. O número de estações e a distância entre elas são, em grande parte, determinados pela densidade demográfica ao longo da rota. Quando a bitola da alta velocidade é compatível com a bitola dos trens urbanos, torna-se mais fácil e barato alcançar os centros das grandes cidades. Os custos de implantação das linhas apresentam grande variação de acordo com a topografia dos terrenos. Quanto mais montanhoso e valorizado o terreno a ser atravessado, mais cara é a implantação da infra-estrutura.

De acordo com a experiência internacional, os custos de implantação de linhas de alta velocidade são da ordem de € 1,8 bilhão por cada 100 km. Como uma parte importante dos benefícios da alta velocidade não se transforma em fluxo de receitas do projeto, a sua viabilidade financeira depende do aporte de recursos por parte do setor público. A participação pública deve se limitar ao valor das externalidades positivas geradas pelo trem-bala, ou seja, ao valor social da redução de congestionamentos e de acidentes, menor emissão de poluentes, menor uso do solo e aumento da competitividade da região atendida pelo projeto. A valorização dos imóveis e terrenos nas imediações das estações de alta velocidade pode representar uma fonte adicional de recursos para seu financiamento.

A fim de que o projeto do trem-bala ofereça retorno econômico positivo para a sociedade, é necessário que sua geração de benefícios exceda os grandes custos de implantação. O cálculo de custos e, principalmente, de benefícios do projeto é bastante complexo, mas fundamental para que as decisões sobre sua execução sejam pautadas por considerações econômicas. Previsões excessivamente otimistas sobre custos e demanda, conforme

mostram os exemplos de Taiwan e, principalmente, da Coréia do Sul, são politicamente convenientes para garantir a aprovação dos projetos. Mas podem resultar em frustrações e decisões equivocadas, somente percebidas pelos contribuintes que custearam o projeto após a sua inauguração.

## Referências Bibliográficas

- ANGOITI, I. *High speed rail: the big picture*. International Railway Association. Rail Tech Moscow, 2007.
- ARDUIN, J. P.; NI, J. “French TGV Network Development”. *Japan Railway & Transport Review*, n. 40, mar. 2005.
- CAMPOS, J.; RUS, G.; BARRÓN, I. *Some stylized facts about high speed rail around the world: An empirical approach*. 4<sup>th</sup> Annual Conference on Railroad Industry Structure, Competition and Investment. Universidad Carlos III de Madrid, 2006.
- CHUN-HWAN, K. “Transportation Revolution: the Korean High-Speed Railway”. *Japan Railway & Transport Review*, n. 40, mar. 2005.
- EBELING, K. “High-Speed Railways in Germany”. *Japan Railway & Transport Review*, n. 40, mar. 2005.
- GLEAVE, S. *High speed rail: International comparisons*. Final Report, 2004.
- INFRAS/IWW. *External costs of transport: accident, environmental and congestion costs in Western Europe*, 2000.
- KATO, S. “Development of Large Cities and Progress in Railway Transportation”. *Japan Railway & Transport Review*, 1996.
- LEVINSON, D.; MATHIEU, J.; GILLEN, D.; KANAFANI, A. “The Full Cost of High-Speed Rail: An Engineering Approach”. *The Annals of Regional Science*, n. 31, p. 189-215, 1997.
- NASH, A. *Best practices in shared-use high-speed rail systems*. Mineta Transportation Institute, 2003.
- SHIMA, T. “Taiwan High-Speed Rail”. *Japan Railway & Transport Review*, n. 48, ago. 2007.
- SHIN, D. *Recent experience of and prospects for high-speed rail in Korea: Implications of a transport system and regional development from*

*a global perspective*. Institute of Urban and Regional Development. Berkeley: University of California, 2005.

SPAVEN, D. *Are high-speed railways good for the environment?* TRANSform Scotland, 2006.

TAKATSU, T. "The History and Future of High-Speed Railways in Japan". *Japan Railway & Transport Review*, n. 48, ago. 2007.

TANIGUCHI, M. *High speed rail in Japan: A review and evaluation of the Shinkansen train*. Institute of Urban and Regional Development. Berkeley: University of California, 1992.